DINÂMICA HÍDRICA DA ÁREA DA LAGOA SALINA DO LEQUE, PANTANAL DA NHECOLÂNDIA, MS[1]

Arnaldo Yoso SAKAMOTO[2]
José Pereira de QUEIROZ NETO[3]
Laurent BARBIERO[4]
Luiza Luciana SALVI-SAKAMOTO[5]
Rosely Pacheco Dias FERREIRA[6]

RESUMO

O Pantanal da Nhecolândia apresenta um mosaico constituído de lagoas, baías, banhados, vazantes, corixos e rios cuja configuração é modulada pelas cheias e secas anuais e interanuais e está relacionada à distribuição espacial de diferentes tipos de cobertura vegetal de matas, cerrados, gramíneas, campos limpos e sujos. Este trabalho apresenta uma análise dos fluxos de água superficial e subsuperficial da área de uma lagoa salina e seu entorno, localizada nas proximidades da Curva do Leque, na Fazenda São Miguel do Firme, no Pantanal da Nhecolândia. Seu objetivo é relacionar as oscilações do lençol freático medidas em campo com informações extraídas de imagens de satélite contemporâneas às medidas num ano seco (1994) e num ano chuvoso (1995). Foram utilizadas imagens do sensor Thematic Mapper/Landsat nas bandas 3-4-5 dos dias 10.06.1994 (padrão seco) e 26.04.1995 (padrão chuvoso). As imagens foram georreferenciadas com o auxílio do aplicativo SPRING 4.1. e analisadas por meio do aplicativo ENVI 4.0 onde foram obtidas as composições coloridas a partir das combinações de bandas: TM3 vermelho, TM4 verde e TM5 azul. As análises da área da lagoa salina foram realizadas através dos registros dos dados piezométricos dos anos de 1994 e 1995.

A análise dos fluxos de águas superficiais mostrou que em junho de 1994, durante um período muito seco, os limites são bem definidos nos ambientes que ainda continham água (rios, corixos, vazantes e lagoas), enquanto que em abril de 1995, um período de águas altas, na porção mais seca do sudoeste da Nhecolândia os limites são pouco claros e o escoamento apresentou ramificações nítidas que correspondem aos fluxos das vazantes, e o limite é muito nítido entre a porção mais úmida e a mais seca, podendo indicar um limite de variação de escoamento superficial conforme a quantidade da água de chuva e do represamento do Rio Paraguai.

Em 1994, constatou-se que de janeiro a maio a água do lençol freático apresentava um leve mergulho da parte externa da cordilheira (banhado-vazante) para a lagoa salina. A partir de junho o lençol freático se aprofunda, inicialmente sob a vertente do banhado e posteriormente sob a vertente voltada para a lagoa salina, que secou completamente em outubro. Em março de 1995, devido à forte cheia, a água atingiu a borda da cordilheira e quase todos os piezômetros ficaram submersos até o início de julho. O nível da água sub-superficial apresentou um pequeno mergulho da lagoa salina em direção ao banhado-vazante. De agosto a novembro registrou-se a presença permanente de água na lagoa salina.

A imagem de 1994 (ano seco) mostrou um funcionamento hídrico superficial associado somente aos canais de drenagem (rios e corixos) importantes da Nhecolândia cujo fluxo predominante se dá no sentido NE-SW da região. Em 1995 (ano cheio), o funcionamento

[1] Apoio: FUNDECT-MS, EMBRAPA-CPAP, SEMACT-MS, Proj. 412/03-Convênio CAPES-COFECUB, UFMS e INPE-DSR.
[2] Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Professor Doutor, sakamoto@ceul.ufms.br.
[3] Universidade de São Paulo, Professor Doutor, laboped@usp.br.
[4] Institut de Recherche pour dévelopement (IRD), Profesor Doutor, barbiero@civil.iisc.ernet.in.
[5] Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Professor Doutor.
[6] Universidade de São Paulo, Professor Doutor, laboped@usp.br.

hídrico superficial ocorreu formando fluxos - que ocuparam as áreas mais deprimidas interligando baías e banhados, apresentando forma alongada e direção análoga à dos fluxos predominantes - constituídos de drenagem desorganizada, anastomosada e entrelaçada, fruto das chuvas e inundações. O Rio Paraguai, que é o nível de base regional, na imagem mostrou um grande volume d'água que se estendeu até a área da Curva do Leque e da lagoa salina da Fazenda São Miguel do Firme.

INTRODUÇÃO

A porção sudoeste do Pantanal da Nhecolândia é considerada uma planície flúvio-lacustre e apresenta um mosaico constituído de lagoas, baías, banhados, vazantes, corixos e rios cuja configuração é modulada pelas cheias e secas anuais e inter-anuais e está relacionada à distribuição espacial de diferentes tipos de cobertura vegetal de matas, cerrados, gramíneas, campos limpos e sujos.

As evidências de fragilidade do ambiente pantaneiro, observadas nos "bancos de areia" e nas cordilheiras degradadas, atestam a importância do estudo da dinâmica hídrica e do papel da água enquanto fator limitante para o uso da região, que aparece caracterizado tanto pelas cheias, quanto pelas secas, e pela mobilização dos elementos químicos do solo disponíveis para as gramíneas. A existência de ambientes bastante diversos quanto à cobertura vegetal e à presença de água, parada ou em fluxo, numa topografia de desníveis extremamente suaves, porém, estreitamente associados com a vegetação, torna o conhecimento da dinâmica hídrica - quanto à presença ou falta de água e quanto à qualidade da água e do solo - entre os diferentes compartimentos do relevo um importante aspecto da sustentabilidade dessa região, ocupada pela pecuária extensiva desde meados do século XIX.

Segundo Tricart (1982), o estudo do Pantanal deveria levar em conta dois aspectos relacionados entre si: a alternância sazonal de períodos de cheia e de períodos de seca e a baixa declividade topográfica associada à morfologia de leques aluviais que constituem as formas predominantes do seu relevo.

A dinâmica hídrica da Bacia do Alto Paraguai, onde está situado o Pantanal em escala regional tem sido pesquisada destacando-se o trabalho realizado pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS, 1974) na década de 1960 e que visava elaborar um modelo matemático de previsão de enchentes; o estudo hidromorfológico do Pantanal (SANCHEZ, 1977); a análise de aspectos geomorfológicos relacionados à hidrologia da planície (TRICART, 1982); a análise da variabilidade das inundações do Pantanal e a questão da previsão das enchentes anuais (ADAMOLI, 1986); a análise da hidrologia (TUCCI, 1986: SAKAMOTO et al., 2005); a análise da variabilidade do regime hidrológico do Rio Paraguai (COLLISCHONN, 2001).

A despeito da fundamental importância das investigações regionais que contribuem para o conhecimento do Pantanal como um todo, seus resultados não permitem relacionar a dinâmica hídrica dos grandes cursos d'água com a paisagem da Nhecolândia. A importância, para o suporte da vegetação, do lençol freático, do ritmo de escoamento das águas superficiais, em lençol ou em canal, já haviam sido assinaladas por Cunha (1980). A mensuração dessa dinâmica em escala de detalhe permitiria testar a suposição de que na paisagem da Nhecolândia, haveria estreita relação entre a água, o relevo, o solo e a vegetação e diversos projetos de pesquisa foram realizados na planície flúvio lacustre buscando descrever e compreender aquelas relações (QUEIROZ NETO et al., 1996; SAKAMOTO, 1997). As investigações evoluíram para a análise dos processos geoquímicos envolvidos na presença de águas alcalinas e de solos mineralizados característicos da paisagem da Nhecolândia (BARBIERO et al., 2000 e 2002).

A pesquisa da dinâmica hídrica em escala de detalhe foi realizada numa área de estudo, situada na Fazenda São Miguel do Firme, que abrangeu uma lagoa salina circundada por uma extensa cordilheira, constituída de cordões arenosos, apresentando uma lagoa doce a

sudoeste, um banhado e uma vazante a norte, cujas formas de relevo são representativas da planície flúvio lacustre do Pantanal da Nhecolândia. Foram realizados estudos pedológicos ao longo de transetos transversais à depressão da lagoa salina e parte da lagoa doce e foram instalados piezômetros na topossequência, abrangendo o banhado, a parte mais elevada e nas duas vertentes da cordilheira para a realização dos registros da oscilação do nível do freático e para a verificação do comportamento hídrico na área de estudo. Os piezômetros foram monitorados durante dois anos e 11 meses, de 28.01.94 a 23.11.96, obtendo-se dados que permitiram a comparação de períodos de cheias e secas anuais, bem como a comparação entre anos sucessivos. Os dados obtidos foram analisados conjuntamente com os dados de fluviometria do Rio Paraguai, registrados na régua de Ladário (MS), de precipitação medida na estação meteorológica da Fazenda Nhumirim (Embrapa) e na estação automática do Passo do Lontra (UFMS), situadas no Pantanal da Nhecolândia e de balanço hídrico calculado com os dados de precipitação e de temperatura das duas estações mencionadas (SAKAMOTO, 1997).

Os resultados mostraram que em 1994, cuja estação chuvosa apresentou índice pluviométrico baixo e distribuição irregular das chuvas, de janeiro a maio a água do lençol freático apresentava um leve mergulho da parte externa da cordilheira para a lagoa salina. A partir de junho o lençol freático se aprofundou, inicialmente sob a vertente do banhado e posteriormente sob a vertente voltada para a lagoa salina, que secou completamente em outubro. Em março de 1995, devido à forte cheia, a água atingiu a borda da cordilheira e quase todos os piezômetros ficaram submersos até o início de julho. O nível da água do lençol freático apresentou um pequeno mergulho da lagoa salina em direção ao banhado-vazante. De agosto a novembro registrou-se a presença permanente de água na lagoa salina. Constatou-se também que o nível do lençol freático, e por extensão o nível de água na lagoa salina, é condicionado pelo nível dos rios envoltórios, como indicado pelo nível do Rio Paraguai em Ladário, e as precipitações acarretaram apenas respostas rápidas do nível da água, não caracterizando o comportamento geral da oscilação do lençol freático ao longo do período analisado.

A pesquisa também permitiu caracterizar as principais unidades geomórficas da área de estudo quanto às formas, à altitude relativa e quanto ao pH das águas (SAKAMOTO, 1997). A lagoa salina da área de estudo possui formato circular e uma das extremidades é mais afunilada; a borda é constituída de praia plana sem cobertura vegetal é circundada por cordilheiras. A lagoa salina, por estar em uma posição mais baixa do que o seu entorno, apresenta-se com água e é a última a secar durante as estiagens prolongadas, como em 1994. O pH é básico, em geral em torno de 8 a 9. Em direção à cordilheira à N da lagoa salina, a transição da vegetação de gramíneas para a mata da cordilheira é abrupta e marcada por renques de carandá (Copernicia Alba); onde a declividade é mais acentuada, aparece uma faixa com capim-rabo-de-burro entremeada de carandás, isolados ou em pequenos maciços, e onde a declividade diminui, aparece o capim caronal e, finalmente, uma última faixa de vegetação rasteira, que forma um tapete em volta da praia da lagoa salina. A lagoa apresenta-se em geral limpa, sem vegetação, apenas com muitas algas. A lagoa doce ou baía é uma depressão mais aberta e mais rasa, de formato circular e irregular, situada a SW da salina. A vegetação associada à lagoa doce, a partir da borda da mata, é variada com grande densidade de arbustos espinhosos, não apresentando praia arenosa. O fundo da lagoa doce apresenta muita matéria orgânica decomposta. O pH é ácido, em geral menos de 6, e sempre, nos períodos de estiagem, seca completamente. Entre a lagoa salina e a lagoa doce existe um colo que se encontra aproximadamente a 1,50m acima do fundo da lagoa salina e a 0,60m acima do fundo da lagoa doce. Possui em torno de 20m de largura no sentido E-W. As cordilheiras são constituídas de mata densa, em forma de extensos cordões alongados e acompanham a direção predominante do fluxo da água, NE-SW; são mais elevadas, de 2m a 5m acima da base da lagoa salina; são delimitadas por caraguatás (Bromelia balansae) nas duas bordas, tanto da lagoa salina quanto do banhado; a mata contém palmáceas acuri (Attalea princceps) e vegetação arbórea diversa. As vertentes da cordilheira, a norte da lagoa salina, são assimétricas: a vertente sul, voltada para esta lagoa, apresenta declividade bem mais acentuada do que a vertente norte, voltada para o banhado e a vazante. O banhado é uma depressão alongada

delimitada pela cordilheira e de vertentes assimétricas; o banhado encontra-se em posição topográfica mais elevada do que a lagoa salina e apresenta concavidade mais suave do que a da lagoa doce. A vegetação é de campo sujo, capins altos e pequenos arbustos esparsos, como o araticum do campo (Annona coriacea). Apresenta-se com água somente no período das cheias. Em direção à cordilheira, aparecem arbustos de cerrado até o limite com a mata da cordilheira, sendo essa transição abrupta, marcada por renques de caraguatás. Esse limite encontra-se de 70cm a 1m acima do nível do banhado; em outros pontos, esse limite pode estar pouco mais elevado. A vazante é separada do banhado através de uma suave elevação, é o local de escoamento superficial das águas durante as cheias e abastece os banhados e lagoas doces a jusante. A vazante possui vegetação de campo limpo e pequenos arbustos esparsos.

A dinâmica hídrica sub-superficial na salina e seu entorno imediato foi caracterizada através das medidas piezométricas num estudo experimental que permitiu observar o ritmo de variação do lençol freático ao longo de um ano relativamente mais seco (1994) e de um ano de enchente excepcional (1995) do Rio Paraguai. No estudo realizado, entretanto, não foram observadas as águas em superfície na porção sudoeste da Nhecolândia na qual está inserida a área de estudo e que é influenciada pela drenagem dos rios Paraguai, Taquari e Negro, e que permitiria abordar outros aspectos da dinâmica hídrica, principalmente aqueles aspectos ligados à variabilidade inter-anual.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta importante para este tipo de análise porque permite obter informações multitemporais de áreas amplas e, no caso do Pantanal, de áreas de difícil acesso principalmente quando ocorrem as inundações.

O uso de técnicas de sensoriamento aplicadas ao conhecimento do Pantanal data da década de 1970. Braun (1977), utilizando imagens do satélite ERTS, distinguiu o macro-leque aluvial do Rio Taquari e reconheceu as sub-unidades morfológicas do leque, apresentando hipóteses sobre sua gênese. No Projeto Radam Brasil, foram interpretadas imagens de radar e fotografias aéreas para a análise dos recursos naturais do território nacional e mapeamento à escala 1:1.000.000; o Pantanal foi abordado em três dos volumes publicados correspondentes às Folhas Cuiabá, Corumbá e Campo Grande.

Técnicas de sensoriamento remoto visando o conhecimento da dinâmica hídrica foram utilizadas no Pantanal, através da interpretação visual de imagens de satélite por Rooy (1982) objetivando quantificar as áreas inundadas e por Vila da Silva (1991) que estudou a dinâmica da inundação em um trecho do Pantanal do Miranda. Técnicas de sensoriamento remoto foram testadas em área da Bacia do Rio Taquari, abrangendo também um trecho do Pantanal, com o intuito de avaliar seu desempenho no monitoramento da dinâmica da cobertura do solo (SHIMABUKURU et al., 1998).

No presente trabalho objetivou-se testar o uso de técnicas de sensoriamento remoto para relacionar as oscilações do lençol freático, medidas em atividades de campo ao longo de um transeto, com a dinâmica das águas superficiais registradas em imagens de satélite contemporâneas às medidas num ano relativamente mais seco (1994) e num ano de enchente excepcional (1995). O objetivo é de complementar, na etapa da investigação ora apresentada, pesquisas sistemáticas anteriores.

MÉTODOS E TÉCNICAS

A delimitação das unidades da paisagem características da Nhecolândia e a análise da dinâmica hídrica vinculada à morfologia dos solos em cada unidade, visando compreender sua organização e os processos responsáveis pela existência de lagoas salinas, constitui a base metodológica adotada desde o início das investigações em 1993 e que se baseou essencialmente nos conceitos da análise estrutural da cobertura pedológica elaborados por Boulet (1988). As análises foram realizadas ao longo de transetos transversais às unidades da paisagem e o controle do papel que a variabilidade das águas sub-superficiais exerce em

relação às lagoas salinas vem sendo feito através de medidas sistemáticas realizadas em piezômetros instalados ao longo dos transetos (SAKAMOTO, 1997; SAKAMOTO et al, 2004). A primeira área de estudo, cujo transeto principal possuía 600m de extensão foi monitorada ao longo de quase três anos (1994 a 1996).

Inserida no contexto daquela metodologia, no presente trabalho procedeu-se à comparação entre dois períodos que apresentaram diferentes aportes de água no ambiente - um relativamente seco e o outro chuvoso - decorrentes da variabilidade pluviométrica regional ao longo da estação chuvosa que se estende de outubro a março. Sob a perspectiva da análise integrada do ambiente proposta por Bertrand (1972) e Monteiro (1987), a descrição da circulação da água em superfície foi realizada vinculando-se a circulação ao arranjo espacial das unidades da paisagem que apresentam entre si desníveis topográficos quase imperceptíveis, não ultrapassando alguns poucos metros, mas que representam condições ambientais muito diversificadas do ponto de vista dos processos físicos, biológicos, geoquímicos e pedogenéticos e que se revelam também na distribuição e organização da cobertura vegetal e na presença de numerosas salinas.

Foram levantadas as imagens de Landsat de 1994 e 1995 disponíveis junto ao INPE e foram escolhidas duas imagens levando-se em conta a qualidade das imagens em relação à nebulosidade presente nas datas das passagens do satélite e as datas correspondentes a períodos significativos em relação às medidas piezométricas que haviam sido realizadas na área de estudo.

As imagens foram georreferenciadas com o auxílio do aplicativo SPRING 4.1. e analisadas por meio dos aplicativos de suporte do SPRING, onde foram obtidas as composições coloridas a partir das combinações de bandas: TM3 (R) vermelho, TM4 (G) verde e TM5 (B) azul. A imagem de 1994 foi georreferenciada com base no mosaico de imagens LANDSAT (Geocover) de 1990, disponibilizado pela NASA (https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/) da folha SF 21 15. Os pontos de controle foram selecionados com um erro de registro de 0.3 pixels na imagem de 1994. A imagem de 1995 foi registrada com base na imagem de 1994, com um erro de 0.3 pixels.

Foi delimitada uma área de estudo nas imagens (na qual está inserida a área da salina onde haviam sido instalados os piezômetros, Figura 1), à escala aproximada de 1:50.000, utilizando a ferramenta Edição Vetorial e as bandas 3 (R), 4 (G) e 5 (B), e as imagens foram sobrepostas para o cálculo da diferença de área ocupada pela água na lagoa salina nas datas escolhidas, tendo sido utilizada a ferramenta Operações Métricas no SPRING; nessas imagens foram selecionados os pixels de referência para a aplicação do modelo.

Foi utilizado o Modelo Linear de Mistura Espectral (Shimabukuru, 1987 apud AFFONSO, 2003) para gerar imagens a partir da estimativa da proporção dos componentes solo, vegetação e água ou sombra presente em cada pixel. Foram selecionados pixels considerados puros e representativos dos três componentes e que serviram de base para a aplicação do modelo às bandas 3, 4 e 5.

Foram selecionadas duas imagens do sensor Thematic Mapper/Ladsat, da órbita ponto 226/73, nas bandas 3, 4 e 5, dos dias 10.06.1994 e 26.04.1995. As imagens foram registradas na projeção Universal Transversal de Mercator e datum (SAD-69); foram selecionados 6 pontos de controle em cada imagem na área delimitada para a pesquisa.

As duas imagens, obtidas no outono, em 10.06.1994 e de 25.04.1995, são representativas, respectivamente, do ano seco e do ano de enchente.

A imagem de 10.06.1994 representa o ano relativamente mais seco quando os piezômetros mostravam o aprofundamento do lençol freático após a estação chuvosa e um mês antes de ser alcançada a cota máxima do Rio Paraguai em Ladário que naquele ano atingiu 3,94m, representando enchente comum. Na estação chuvosa, de outubro de 1993 a março de 1994, foi registrado total de 688mm e a distribuição temporal da chuva foi irregular, segundo dados da Fazenda Nhumirim localizada no Pantanal da Nhecolândia, totais próximos a

200mm mensais em dezembro e em fevereiro e totais mensais inferiores a 100mm em janeiro e março, e inferiores a 50mm em outubro, novembro e abril.

A imagem de 25.04.1995 representa o ano de enchente excepcional quando a área de estudo foi invadida completamente pelas águas e os piezômetros ficaram submersos, após a estação chuvosa e coincidente com a cota máxima do Rio Paraguai em Ladário que foi de 6,56m. Desde 1900 quando se iniciaram as medidas das cotas diárias do Rio Paraguai em Ladário, cotas acima de 6m foram registradas em 11 anos, de 1900 a 1997 (SALVI-SAKAMOTO, 2001) e são consideradas representativas de enchentes extraordinárias ou excepcionais (DNOS, 1974). Na estação chuvosa, de outubro de 1994 a março de 1995, foram registrados 1137,3mm e a distribuição temporal foi regular com totais mensais acima de 200mm em dezembro, janeiro e fevereiro e entre 150 e 200mm em outubro, novembro e março.

RESULTADOS

Enchentes excepcionais do Rio Paraguai, quando são registradas cotas máximas acima de 6m no Rio Paraguai em Ladário, ocorreram no início do século XX em 1905, 1913, 1920 e 1921, e a partir do final da década de 1970, quando a freqüência aumentou, em 1979, 1980, 1982, 1985, 1988, 1989 e 1995, segundo dados disponibilizados pela Base Naval de Ladário até 1997.

Extensas áreas foram inundadas no Pantanal a partir do início da década de 1970, quando um período chuvoso sucedeu um extenso período relativamente mais seco e de águas baixas, período seco bastante acentuado durante a década de 1960 (COLLISCHONN et al. 2001; SALVI-SAKAMOTO, 2001).

Especialmente na borda do macro leque do Taquari na faixa de transição até a planície aluvial do Rio Paraguai, os impactos das inundações mais freqüentes depois de 1972 foram maiores, com a inundação total ou parcial de fazendas e pastagens nos pantanais do Paiaguás e do Abobral situados, respectivamente, a noroeste e a sudoeste do Pantanal da Nhecolândia.

Entre 1972 e 1997 foram registrados dois períodos relativamente mais secos, em 1985 e em 1993 e 1994, quando as cotas máximas do Rio Paraguai em Ladário atingiram níveis próximos de 4m indicando enchentes médias.

No contexto da variabilidade interanual das enchentes do Rio Paraguai registradas em Ladário, a montante da confluência dos rios Taquari e Negro com o Rio Paraguai, o ano de 1994 representa padrão de enchente média a comum, e 1995, padrão de enchente extraordinária ou excepcional, de acordo com a classificação utilizada pelo DNOS (1974).

A LAGOA SALINA E SEU ENTORNO

A área da salina e seu entorno está situada na Fazenda São Miguel do Firme, nas proximidades da Curva do Leque, e apresenta os ambientes específicos dos diversos elementos da paisagem característicos do Pantanal da porção sul-sudoeste da Nhecolândia (SAKAMOTO, 1997). A lagoa salina, ao centro da área, é circundada por uma extensa cordilheira ou cordões arenosos, apresentando uma lagoa doce a sudoeste, e um banhado e uma vazante a norte, cujas formas de relevo são representativas da planície flúvio-lacustrre do Pantanal da Nhecolândia (Figura 1). Os piezômetros haviam sido instalados no transeto de orientação norte sul (TS I). O nível do lençol freático foi medido de 10 em 10 dias (Figura 1). A área da salina e seu entorno constituiu referência para a interpretação das imagens de satélite.

Nas Figuras 2 e 3, a área da salina aparece no centro das imagens. Um mosaico de cordilheiras situadas à leste da imagem mostra organização das unidades da paisagem semelhante à da área da salina observando-se a ocorrência de lagoas, banhados e vazantes. Os campos e capões de mata predominam a oeste.

A composição das bandas TM3 (R), TM4 (G) e TM5 (B) das imagens de 1994 e 1995 apresentadas nas Figuras 2 e 3, permitiu distinguir na área de estudo a água nos canais de drenagem e as áreas alagadas na coloração escura e algumas lagoas na coloração azul; a vegetação aparece na tonalidade alaranjada; e o solo, quando arenoso e nu, na coloração esbranquiçada, e as áreas de tonalidades de cinza para cinza esverdeadas representam as áreas de campos com gramíneas e vegetação arbustiva esparsa.

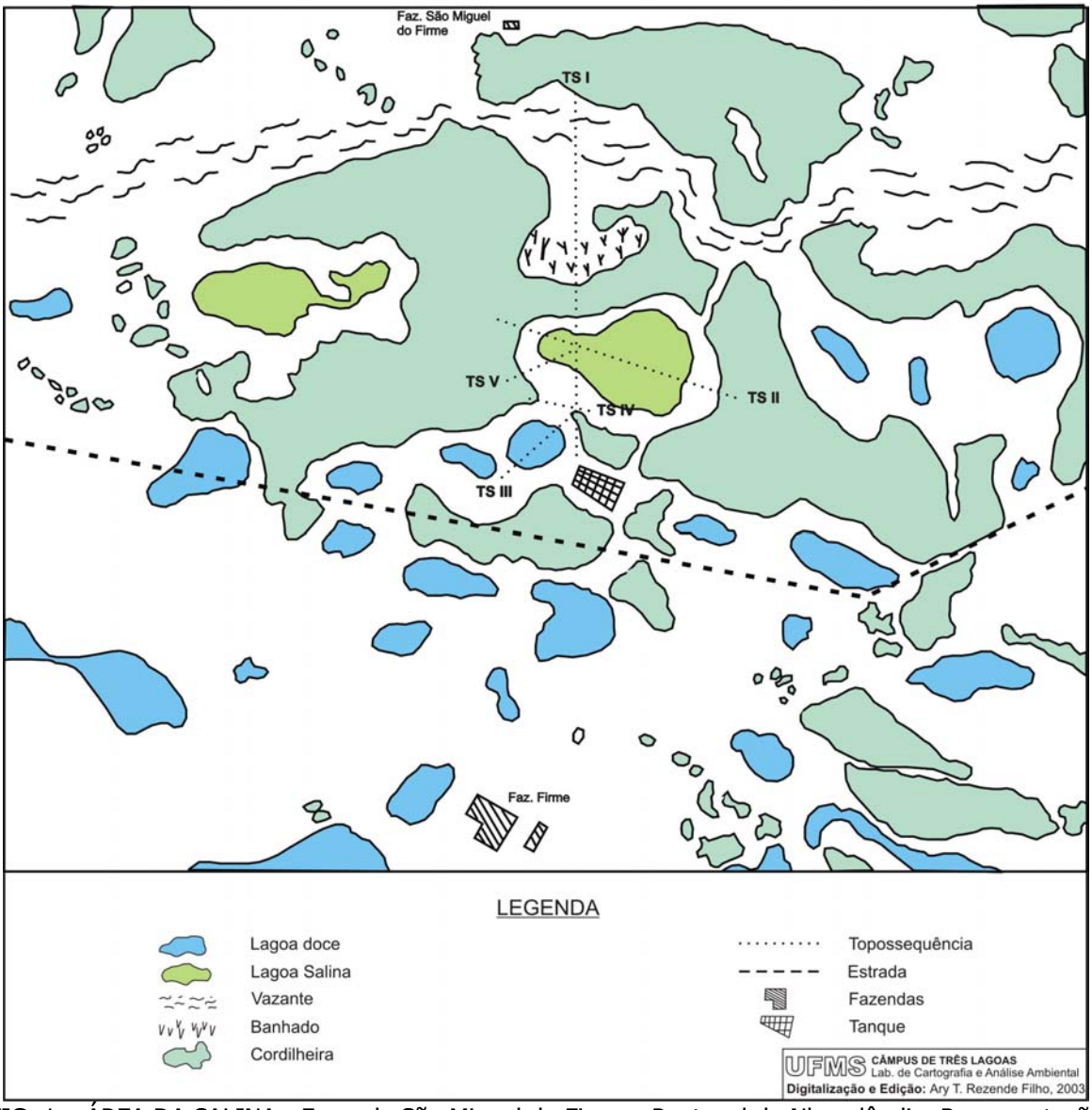

FIG. 1 – ÁREA DA SALINA - Fazenda São Miguel do Firme - Pantanal da Nhecolândia. Representação da área da salina a partir de fotografia aérea da USAF, de abril de 1966, à escala 1:60.000 ampliada em aproximadamente 33% (Modificada de SAKAMOTO, 1997).

A profundidade do lençol freático em 10.06.1994 sob o topo da cordilheira era de 3m que representa o desnível topográfico entre o topo da cordilheira e a praia da salina. A distribuição espacial da água na imagem de 1994 (Figura 2) indica que o lençol freático encontrava-se próximo à superfície abastecendo as áreas mais deprimidas, as lagoas salinas e doces, enquanto os banhados e vazantes, situados em nível topográfico

intermediário entre o fundo das lagoas e o topo das cordilheiras, estavam secos. Na área da salina, o escoamento linear da água estava, portanto, já interrompido no início de junho.

A inundação de 1995 (Figura 3) impediu o acesso aos piezômetros em abril; de fato, a água cobriu extensa área. A imagem de 1995 (Figura 3) mostra, a leste, que os baixos cursos das vazantes ainda estavam em funcionamento escoando as águas da estação chuvosa. As águas das vazantes provenientes de leste apresentam direção predominante de escoamento de NE para SW e observa-se a água ocupando a vazante e o banhado ao norte da lagoa salina.

A área ocupada pela água na lagoa salina praticamente dobrou em 26.04.1995 (Figura 3) em relação a 10.06.1994 (Figura 2), sendo, respectivamente, 141.637m^2 e 64.462m^2. As informações prestadas pelos moradores e as observações de campo indicaram que a água não ultrapassou o topo da cordilheira situada ao norte da salina em 1995. No entanto, pelo sul, a imagem de satélite (Figura 3) mostrou claramente a existência de um pequeno colo deprimido no cordão arenoso da cordilheira, pelo qual a água escoou da baía ou lagoa de água doce para a salina.

O colo na cordilheira é fruto de desmatamento para permitir o acesso do gado até a salina, uma vez que em períodos secos a falta de água pode tornar-se fator limitante para a criação e as salinas mantém-se com água por mais tempo do que as lagoas doces. A invasão de águas cujo teor de pH é mais baixo do que o das salinas pode provocar efeitos geoquímicos importantes nos ambientes das salinas.

A Porção SSW do Pantanal da Nhecolândia

Os resultados obtidos através da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral mostram a composição das frações água, solo e vegetação no ano relativamente mais seco (Figura 4) e no ano com inundação (Figura 5).

Nas Figuras 4 e 5, a área da salina aparece no centro das imagens. O baixo curso do Rio Negro, ao sul, percorre a área deprimida da borda sul do macro leque do Taquari e o baixo curso da Vazante do Corixinho, a noroeste, é um dos canais de escoamento que divergem do Rio Taquari (não mostrado).

A comparação das duas cenas mostra claramente o aumento do componente água (em azul) do ano seco em relação ao ano de inundação. Na composição do ano seco (Figura 4) as áreas com presença de água estão limitadas a lagoas isoladas e à drenagem do Rio Negro e da Vazante do Corixinho.

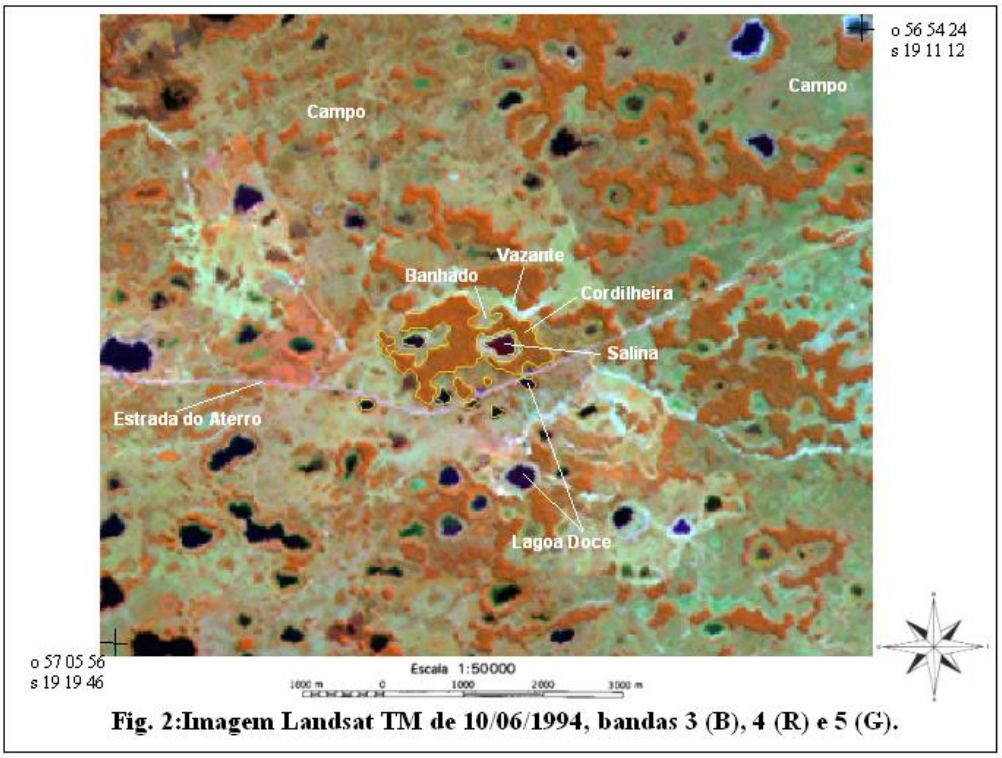

Fig. 2:Imagem Landsat TM de 10/06/1994, bandas 3 (B), 4 (R) e 5 (G).

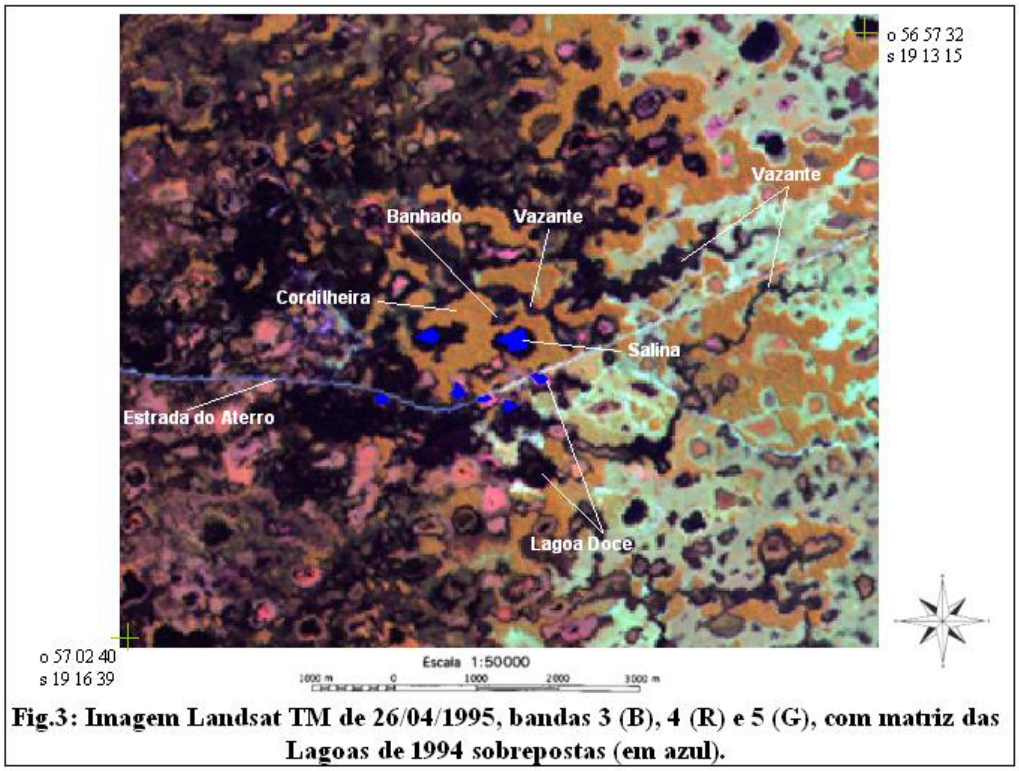

Fig.3: Imagem Landsat TM de 26/04/1995, bandas 3 (B), 4 (R) e 5 (G), com matriz das Lagoas de 1994 sobrepostas (em azul).

Na composição do ano de cheia excepcional (Figura 5), toda a porção ocidental da área de estudo é dominada pela fração água, mostrando a extensão do processo de inundação. Na área onde predominam as cordilheiras, a leste, a água escoava pelas vazantes; na área onde predominam os campos e capões de mata, o processo de inundação se deu independente da presença de cobertura vegetal.

No ano seco (Figura 4) o funcionamento hídrico superficial estava associado somente aos canais de drenagem (rios e corixos) importantes da Nhecolândia cujo fluxo predominante se dá na direção NE-SW da região. No ano de enchente, 1995 (Figura 5), o funcionamento hídrico superficial ocorreu formando fluxos - que ocuparam as áreas deprimidas interligando

baías e banhados, apresentando forma alongada e direção análoga à dos fluxos predominantes - constituídos de drenagem desorganizada, anastomosada e entrelaçada.

A inundação representou a ação conjunta das águas que escoaram através da Nhecolândia e daquelas que provém da enchente do Rio Paraguai, que é o nível de base regional, e a comparação entre os anos de 1994 (seco) e 1995 (inundado) mostrou a abrangência da inundação na área da curva do Leque (Figuras 4 e 5).

A área de estudo é influenciada pela cheia do Rio Paraguai, situado à oeste (não mostrado) a aproximadamente 25 km de distância em linha reta, e do Rio Negro (ao sul), da Vazante do Corixinho (a noroeste) e da drenagem da porção leste da Nhecolândia. A área de estudo situa-se próximo da borda sudoeste do macro leque do Taquari e constitui a transição entre a planície flúvio-lacustre da Nhecolândia e a planície fluvial do Rio Paraguai e seus afluentes (Taquari e Negro).

O Rio Taquari é divergente no macro leque (ALVARENGA et al, 1984, p. 144) e a drenagem intermitente na Nhecolândia, de direção NE-SW, que se realiza por meio de corixos e vazantes, é resultado do deflúvio das águas daquele rio, enquanto que o Rio Negro é convergente (ALVARENGA et al., 1984, p. 144) e recebe parte daquelas águas. O Rio Negro acompanha a borda sul do macro leque em área deprimida. A área de estudo situa-se no caminho desse escoamento ao qual aliam-se as águas do Rio Paraguai provenientes dos afluentes da porção norte da Bacia do Alto Paraguai.

A consulta à imagem de 25.03.1995, um mês antes da imagem apresentada na Figura 5, mostrou a rede intensa de canais anastomosados em funcionamento a leste da área de estudo escoando pela Nhecolândia de NE para SW e organizados ao longo das vazantes e corixos. Essas observações indicam que no final de março estavam muito ativos os canais de escoamento relacionados às chuvas na Nhecolândia; um mês depois a situação na Nhecolândia a leste da área de estudo era diferente, o escoamento superficial havia diminuído significativamente.

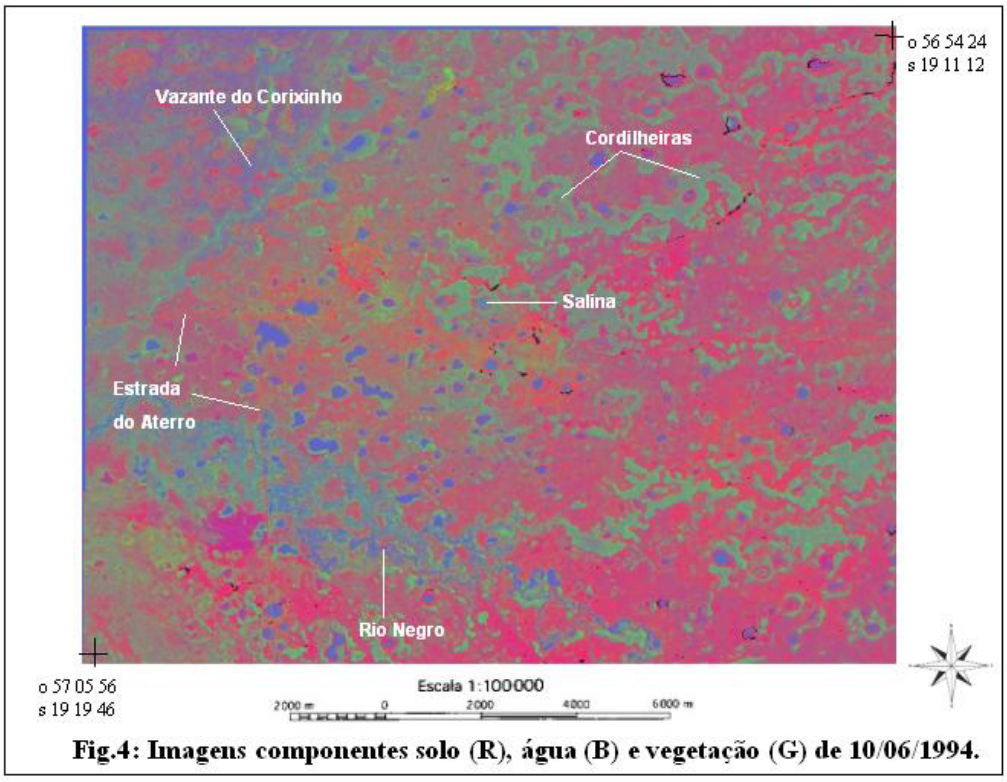

Fig.4: Imagens componentes solo (R), água (B) e vegetação (G) de 10/06/1994.

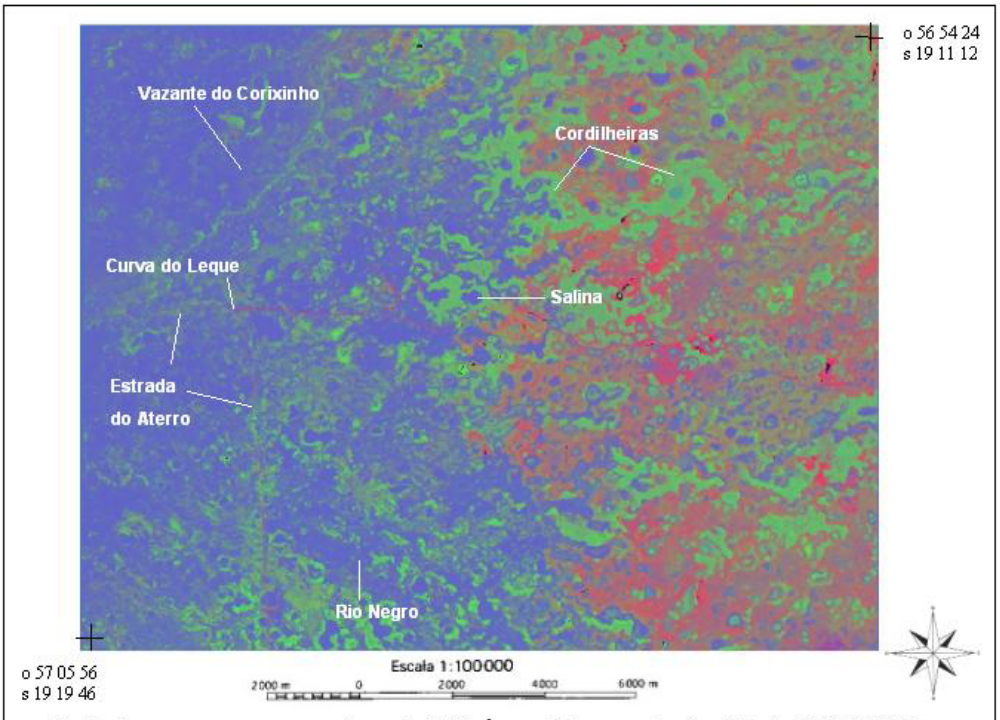

Fig.5: Imagens componentes solo (R), água (B) e vegetação (G) de 26/04/1995.

A comparação das imagens também permitiu visualizar a abrangência da inundação; nos períodos de cheias, a inundação ocupa as áreas deprimidas de corixos, vazantes, banhados e baías e lagoas que ficam completamente cheios de água, e nos períodos de águas baixas, muitas destas áreas deprimidas secam completamente, com exceção, freqüentemente, das lagoas salinas, um pouco mais baixas em relação ao seu entorno.

Com base em informações dos moradores da região e em observações de campo, a água nas lagoas salinas permanece por mais tempo do que nas lagoas doces; as lagoas salinas secam totalmente apenas em períodos de estiagem severa. Em observações de campo e de imagens de satélites constatamos que as águas circulam através das vazantes e fluem e defluem conforme o período das cheias e secas.

A extensa área inundada que se observa na Figura 5 oferece um exemplo da diminuição da área útil no Pantanal, especialmente para a pastagem, e mostra as restrições de uso impostas pelo excesso de água, que dificulta a locomoção na região.

Na área da salina, no segundo semestre de 1994, segundo as medidas piezométricas, as condições de estiagem recrudesceram e o nível do lençol freático permaneceu abaixo de 3,5m sob o topo da cordilheira; a lagoa salina praticamente secou em agosto. Em outubro as condições apresentavam-se muito secas. O nível do lençol freático acusou elevação lenta a partir do final de novembro. No final de março de 1995 a inundação impediu o acesso à salina e as medidas puderam ser retomadas somente em julho. O nível mais baixo do lençol freático sob a cordilheira (2,26m de profundidade) foi registrado no início de outubro de 1995 e nesse período a água da lagoa salina alcançava a borda da cordilheira. Em 1995 praticamente não foram registradas condições de estiagem, como no ano anterior.

CONCLUSÃO

Os primeiros resultados da análise preliminar realizada permitiram avaliar alguns aspectos relacionados ao uso de técnicas de sensoriamento remoto aliado aos dados de campo em uma área do Pantanal. Os resultados obtidos com a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral mostraram-se bastante coerentes com o conhecimento de campo prévio.

Foram encontradas dificuldades na etapa de registro das imagens porque as mudanças significativas impostas pelas condições diferentes da presença da água no ambiente tornam a escolha dos pontos de referência tarefa bastante morosa. Por exemplo, na imagem de 1994 encontrou-se dificuldade de distinguir o traçado das estradas nos trechos que foram construídos sobre aterros de terra, e que se confundem com o solo nu das laterais do aterro. Nos períodos secos os usuários preferem trafegar margeando o aterro uma vez que o solo é mais liso fora do aterro e na imagem o aterro torna-se indistinto em relação ao solo nu. Ao ser acoplada a imagem de 1995, onde o traçado da estrada aparece nitidamente em função do grau de umidade dos solos nas laterais da estrada, tem-se a impressão de que houve deslocamento em relação a 1994. Foi necessário repetir a etapa de registro até que o acoplamento se mostrasse satisfatório.

O Modelo Linear de Mistura Espectral utilizado permitiu distinguir as unidades da paisagem na área de estudo selecionada e que representam a base metodológica da investigação que vem sendo realizada em escala de detalhe no Pantanal da Nhecolândia desde 1992.

O modelo permite monitorar as águas de superfície e consideraram-se satisfatórias as composições, de cada imagem, nas frações água, vegetação e solo. A aplicação do modelo permitiu realizar observações iniciais complementares à interpretação dos dados obtidos no campo para uma situação de variação interanual e, certamente, oferecerá ferramenta valiosa para análises sazonais que são igualmente importantes no Pantanal.

Pretende-se dar continuidade à investigação procurando quantificar alguns aspectos das inundações e relacionar as inundações com as ocorrências de solos mineralizados que estão vinculados à dinâmica hídrica.

Agradecimentos

O apoio do Departamento de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em especial à Dra. Evlyn Moraes Novo e à assistente de pesquisa da Universidade da Califórnia, Adriana Gomes Affonso.

REFERÊNCIAS

ADÁMOLI, J. - 1986 - A dinâmica das inundações no Pantanal. In: Anais do I Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal. BRASÍLIA-DF. DDT-EMBRAPA/CCPAP-UFMS: p. 51-61.

AFFONSO, A. G. – 2003 – Caracterização de Fisionomias Vegetais na Amazônia Oriental através de Imagens Landsat 7 EPM+ e Videografia Aero Transportada. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, DSR-INPE. 108p.

ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; PINHEIRO, R. & KUX, H. J. H. - 1984 - Estudo Geomorfológico aplicado à Bacia do Alto Paraguai e Pantanais Mato-grossenses. In: Brasil. RADAMBRASIL - Boletim Técnico, série Geomorfologia. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Brasília, DF: 89-187.

BARBIÉRO, L. et al. – 2002 – Geochemistry of Water and Ground Water in the Nhecolândia, Pantanal of Mato Grosso, Brazil: variability and associated processes. Wetlands, vol. 22, n. 3, sep. 2002, pp. 528-540.

BERTRAND, G. – 1972 – Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. In: Caderno de Ciências da Terra (13) Trad. Olga Cruz. Instituto de Geografia/USP. São Paulo: 27p.

BOULET, R. - 1988 - Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In: "A RESPONSABILIDADE SOCIAL DA CIÊNCIA DO SOLO". XXI Congr. Brasil. Ciência do Solo. Campinas, SP: 79-90.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. – 2001 – Further Evidence of Changes in the Hydrological Regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? Journal of Hydrology, n. 245, p. 218-38, 2001.

CUNHA, N. G. da - 1980 - Considerações sobre os solos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-grossense. Corumbá, MS. Circular Técnica EMBRAPA/UEPAE (1): 6-45.

DNOS - 1974 - Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai. Rio de Janeiro. (Brasil, Ministério do Interior. Depto. Nacional de Obras de Saneamento) - vols: 1. Relatório Técnico: 284p.; 2. Diversos: 230p.; 3. Alturas de Chuvas: 631p. e 4. Fluviometria: 664p.

MONTEIRO, C. A. de F. - 1987 - Clima e Dinâmica Ambiental. Projeto OEA/UFMS Ecologia do Pantanal: Meio Ambiente, Flora e Fauna. Corumbá, MS. Relatório Final (inédito).

QUEIROZ NETO, J. P. de; SAKAMOTO, A. Y.; LUCATI, H. M. & FERNANDES, E. - 1996 - Dinâmica hídrica de uma lagoa salina e seu entorno na área do Leque, Nhecolândia (Pantanal - MS). In: Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal. EMBRAPA-CPAP/UFMS-CEUL, Corumbá, MS.

ROOY, C. de – 1982 – Avaliação da Interpretação Visual de Imagens Landsat MSS na Quantificação de Áreas inundadas no Pantanal Mato-Grossense, Brasil. In: II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1982. Brasília. Anais... Brasília, Vol. II.

SAKAMOTO, A.Y. – 1997 – Dinâmica Hídrica em uma Lagoa "Salina" e seu entorno no Pantanal da Nhecolândia: contribuição ao estudo das relações entre o meio físico e a ocupação, Fazenda São Miguel do Firme, MS. Tese (Doutorado em Ciências – Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SAKAMOTO, A. Y.; QUEIROZ NETO, J. P. de; SALOMÃO, F. X. T. & OLIVEIRA, A. M. S. - 1994 - Técnicas piezométricas para estudo do lençol freático na Fazenda São Miguel do Firme, Pantanal da Nhecolândia, MS. In: IX Seminário "Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: Aplicação ao Estudo Interdisciplinar do Ambiente Tropical Brasileiro". FLONA IPANEMA, Sorocaba, SP: 3p.

SAKAMOTO, A. Y.; QUEIROZ NETO, J. P. de; FERNANDES, E.; LUCATI, H. M. & CAPELLARI, B. - 1996 - Topografia de lagoas salinas e seus entornos no Pantanal da Nhecolândia (MS). In: Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal. EMBRAPA-CPAP/UFMS-CEUL, Corumbá, MS.

SAKAMOTO, A. Y.; SALVI-SAKAMOTO, L. L.; QUEIROZ NETO, J. P. de; BRABIERO, L. – Abordagem Metodológica para o Estudo de Lagoas e Salinas do Pantanal da Nhecolândia, MS. Fazenda São Miguel do Firme. In: SIMPAN 2004, Sustentabilidade Regional - IV Simpósido sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal. EMBRAPA-CPAP. Corumbá, MS, 23 a 26 de novembro de 2004.

SAKAMOTO, A. Y.; QUEIROZ NETO, J. P. de; BARBIERO, L.; FORT, M.; FURIAN, S.; FURQUIM, S.; FERREIRA, R. P. D.; SALVI-SAKAMOTO, L. L.; REZENDE FILHO, A. T.; OLIVEIRA, W. – Funcionamento Hidrológico, Físico e Biogeoquímico do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, Brasil. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina – Por uma Geografia Latino-Americana: Do labirinto da solidão ao espaço da solidariedade. São Paulo (SP): 20 a 25 de março de 2005.

SALVI-SAKAMOTO, L.L. – 2001 – A Chuva na Bacia do Alto Paraguai: contribuição ao estudo de aspectos das flutuações interanuais durante o século XX. Tese (Doutorado em Ciências – Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SANCHEZ, R. O. - 1977 - Estudio Fluviomorfológico del Pantanal; regionalizacion, subregionalizacion y sectorizacion geográfica de la depression de la alta cuenca del Rio Paraguay. Estudo Desenv. Integrado da Bacia do Alto Paraguai (EDIBAP) Convênio Governo Brasileiro-UNDP-OEA, Brasília-DF: 50p

SHIMABUKURU, Y.E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. -. Índice de Vegetação e Modelo Linear de mistura Espectral no Monitoramento da Região do Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 33, número especial, out. 1998, p.1729-1737.

"SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

TRICART, J. - 1982 - El Pantanal: un ejemplo del impacto geomorfológico sobre el ambiente. In: Informaciones Geograficas (29). Chile: 81-97.

TUCCI, C.E.M. – 1995 – Comportamento Hidrológico do Pantanal. In: Encontro sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal. INPE/EMBRAPA-CPAP, Corumbá, pp.1-3.

VILA DA SILVA, J. dos S. – 1991 – Aplicações de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas na Avaliação da Dinâmica de Inundação no Pantanal. Dissertaçõa (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE, São José dos Campos, 1991.